

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Reflective X-ray microscope for examining an object in an object plane illuminates the object with beam wavelengths less than 30 nm while scanning it into an image plane as an enlarged object

Patent number: DE10220816
Publication date: 2003-11-20
Inventor: HARNISCH WOLFGANG (DE); MANN HANS-JUERGEN (DE); ZIBOLD AXEL (DE); DINGER UDO (DE); ENGEL THOMAS (DE); WEDOWSKI MARCO (DE); PAUSCHINGER DIETER (DE)
Applicant: CARL ZEISS MICROELECTRONIC SYS (DE)
Classification:
- **International:** G21K7/00; H01L21/66; G03F7/20
- **European:**
Application number: DE20021020816/20020510
Priority number(s): DE20021020816/20020510

Abstract of DE10220816

A first subsystem with a first concave mirror (S1) and a second convex mirror (S2) both centered on an optical axis (HA) fits in a beam path from an object plane to an image plane and has a first optical element for wavelengths less than 30 nm. A first image (Z) is formed in a first-image plane (2). A second subsystem fits in a beam path after the first image. Independent claims are also included for the following: (a) An inspection system for examining objects, e.g. masks for microlithography with wavelengths less than 100 nm, preferably less than 30 nm; (b) A method for inspecting objects, e.g. masks for microlithography with wavelengths less than 100 nm.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 102 20 816 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
G 21 K 7/00
H 01 L 21/66
G 03 F 7/20

21 Aktenzeichen: 102 20 816.6
22 Anmeldetag: 10. 5. 2002
43 Offenlegungstag: 20. 11. 2003

DE 102 20 816 A 1

71 Anmelder:
Carl Zeiss Microelectronic Systems GmbH, 07745
Jena, DE
74 Vertreter:
Dr. Weitzel & Partner, 89522 Heidenheim

72 Erfinder:
Mann, Hans-Jürgen, 73447 Oberkochen, DE;
Dinger, Udo, Dr., 73447 Oberkochen, DE; Wedowski,
Marco, Dr., 73447 Oberkochen, DE; Engel, Thomas,
Dr., 99102 Niedernissa, DE; Zibold, Axel, Dr., 07749
Jena, DE; Harnisch, Wolfgang, 07778 Lehesten, DE;
Pauschinger, Dieter, Dr., 13465 Berlin, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Reflektives Röntgenmikroskop und Inspektionssystem zur Untersuchung von Objekten mit Wellenlängen \leq 100 nm

57 Die Erfindung betrifft ein reflektives Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer Objektebene, wobei das Objekt mit Strahlung einer Wellenlänge < 100 nm, insbesondere < 30 nm, beleuchtet und in eine Bildebene vergrößert abgebildet wird mit
- einem im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene angeordneten ersten Subsystem, umfassend wenigstens ein erstes optisches Element.
Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß
- im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene ein Zwischenbild in einer Zwischenbildebene ausgebildet wird und das reflektive Röntgenmikroskop ein dem ersten Subsystem im Strahlengang nach dem Zwischenbild angeordnetes zweites Subsystem umfaßt.

DE 102 20 816 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein reflektives Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer Objektebene, wobei das Objekt mit Strahlengang einer Wellenlänge < 100 nm, insbesondere < 30 nm beleuchtet und in eine Bildebene vergrößert abgebildet wird. Ein derartiges reflektives Röntgenmikroskop umfaßt ein im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene angeordnetes erstes Subsystem, das wenigstens ein erstes optisches abbildendes Element, vorzugsweise einen ersten Spiegel umfaßt, wobei im Lichtweg nach dem ersten Subsystem ein reelles Zwischenbild in einer Zwischenbildebene des Objektes in der Objektebene ausgebildet wird. Röntgenmikroskope sind aus nachfolgenden Anmeldungen bekannt geworden:

US 5,222,113

US 5,311,565

US 5,177,774

US 5,144,497

US 5,291,339

US 5,131,023

EP 0 459 833

[0002] Ein Schwarzschild-System mit nachgeordnetem Beugungsgitter ist aus der

US 5,022,064

bekannt geworden und ein Inspektionssystem mit reflektivem Röntgenstrahlmikroskop aus der

JP 2001116900.

[0003] Die Anmeldungen US 5,222,113, US 5,311,565, US 5,177,774, EP 0 459 833 zeigen Röntgenstrahlmikroskope, bei denen in der Projektionsoptik Zonenplatten für die Abbildung vorgesehen sind. Bei Fresnelschen Zonenplatten handelt es sich um ein wellenoptisch abbildendes Bauelement, bei dem das Licht an einem System aus konzentrisch angeordneten Kreisingen gebeugt wird. Der Nachteil der Verwendung von Fresnelschen Zonenplatten in den abbildenden Systemen mit mehreren optischen Elementen im Bereich der Röntgenstrahlung ist darin zu sehen, daß Fresnelsche Zonenplatten transmittive Bauteile sind, die aufgrund der schlechten Transmission im Röntgenbereich zu großen Lichtverlusten führen.

[0004] Aus den US-Patenten US 5,144,497, US 5,291,339, US 5,131,023 sind Röntgenstrahlmikroskope umfassend Schwarzschild-Systeme als abbildende Systeme bekannt geworden.

[0005] Bei sämtlichen in den US-Patenten US 5,144,497, US 5,291,339 und US 5,131,023 beschriebenen Röntgenstrahlmikroskopen ist der Strahlengang am zu untersuchenden Objekt telezentrisch ausgelegt, was eine Abbildung von Objekten in Reflexion erschwert.

[0006] Ein weiterer Nachteil derartiger Systeme für einen Einsatz zur Untersuchung von Objekten, insbesondere solchen, die im Bereich der Röntgenlithographie Verwendungen finden, ist deren große Baulänge zur Erzielung eines ausreichenden Abbildungsmaßstabes. Dies erschwert die Verwendung beispielsweise in Inspektionssystemen zur Untersuchung von Masken in EUV-Projektionsbelichtungsanlagen.

[0007] Aus der US 5,022,064 ist ein Schwarzschild-System bekanntgeworden, bei dem nach dem Schwarzschild-System ein Beugungsgitter angeordnet ist, um Röntgenstrahlung unterschiedlicher Wellenlänge in unterschiedlichen Ordnungen zu beugen und so das Licht spektral aufzuspalten. Auch dieses System ist telezentrisch am Objekt.

[0008] Ein reflektives Röntgenstrahlmikroskop zur Untersuchung eines Objektes für die Mikrolithographie in einer Objektebene mit Strahlung einer Wellenlänge < 100 nm, insbesondere < 30 nm, ist aus der JP 2001116900 bekannt-

geworden. Das in dieser Anmeldung offenbarte Röntgenstrahlmikroskop ist ein Schwarzschild-System mit einem konkaven ersten Spiegel und einem konvexen zweiten Spiegel. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Systemen ist der Strahlengang zur Untersuchung des Objektes am Objekt nicht telezentrisch, so daß eine Untersuchung in Reflexion, beispielsweise von EUV-Reflexionsmasken, ermöglicht wird.

[0009] Nachteilig an dem in der JP 2001116900 offenbarten System ist, daß es eine sehr große Baulänge aufweist, wenn große Abbildungsmaßstäbe gefordert werden.

[0010] Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden, insbesondere die der JP 2001116900, und ein reflektives Röntgenstrahlmikroskop anzugeben, das die Untersuchung von Objekten für die Mikrolithographie ermöglicht und eine kurze Baulänge aufweist. Bevorzugt soll die Baulänge des Röntgenstrahlmikroskops weniger als 5 m, insbesondere bevorzugt weniger als 3 m bei einer Vergrößerung von $10\text{--}10000\times$, bevorzugt $300\text{--}1000\times$ betragen.

[0011] In einem weiteren Aspekt der Erfindung soll ein Inspektionssystem angegeben werden, das insbesondere die Untersuchung von Masken für photolithographische Prozesse mit Wellenlängen < 100 nm, bevorzugt im Wellenlängenbereich $10\text{--}30$ nm, ermöglicht.

[0012] Inspektionssysteme, insbesondere für die Untersuchung von Transmissionsmasken für photolithographische Prozesse mit Wellenlängen im UV-Bereich, sind aus

EP-A-0628806

JP-A-4-321047

bekannt geworden. Der Inhalt dieser Schriften wird vollumfänglich in den Offenbarungsgehalt dieser Anmeldung mit aufgenommen. In diesen Systemen ist allerdings nur die Untersuchung von Transmissionsmasken beschreiben; eine Untersuchung von Reflexionsmasken, wie in der EUV-Lithographie verwendet, ist nicht erwähnt.

[0013] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß dem ersten Subsystem, umfassend wenigstens ein erstes optisches Element, ein zweites Subsystem im Lichtweg nachgeordnet ist, so daß das Zwischenbild in der Zwischenbildebene in ein vergrößertes Bild in der Bildebene abgebildet wird.

[0014] Das zweite Subsystem kann in einer ersten Ausgestaltung ein Photoemissions-Elektronenmikroskop (PEEM) umfassen. Das erste Subsystem muß dann lediglich eine niedrige erste Vergrößerung, beispielsweise einen ersten Abbildungsmaßstab von $0,1\times\text{--}100\times$, bevorzugt $1\times\text{--}10\times$, aufweisen. Das PEEM kann als Zoom-Objektiv mit variabler Vergrößerung ausgebildet sein.

[0015] Die notwendige Vergrößerung des Gesamtsystems auf $10\times$, insbesondere $300\text{--}1000\times$ von der Objektebene bis zur Bildebene wird durch das Photoemissions-Elektronenmikroskop zur Verfügung gestellt. Auf diese Art und Weise kann die Baulänge des Gesamtsystems gegenüber dem aus der JP 2001116900 bekannten System erheblich reduziert werden.

[0016] Photoemissions-Elektronenmikroskope, sogenannte PEEM's sind im Stand der Technik beschrieben und werden beispielsweise von der Firma Focus GmbH, D-65510 Hünstetten-Görsroth gebaut und vertrieben. Diesbezüglich wird auf die Webpage <http://www.focus-gmbh.com> verwiesen. Das beispielhaft auf dieser Internetseite beschriebene Photoemissions-Elektronenmikroskop, ist kein Mikroskop, bei dem Licht für die Bildentstehung sorgt, sondern Elektronen. Bei Photoemissions-Elektronenmikroskopen wird das zu untersuchende Objekt mit abbildender Elektronenoptik, umfassend elektrostatische Linsen, abgebildet. Die bilderzeugenden Elektronen werden im vor-

liegenden Fall durch die Bestrahlung einer Photoelektrode, beispielsweise einer Photokathode, die in oder nahe der Zwischenbildebene angeordnet ist, mit Röntgenstrahlung ausgelöst und durch das Linsensystem auf eine Vielkanalplatte zur Verstärkung abgebildet. In vorliegender Anmeldung wird unter einer Anordnung nahe der Zwischenbildebene ein Abstand von

$$\frac{\lambda}{NA'^2},$$

bevorzugt

$$\leq 5 \cdot \frac{\lambda}{NA'^2},$$

wobei λ die Wellenlänge des einfallenden Lichtes ist und

$$NA' = \frac{NA}{\beta_1},$$

wobei NA die numerische Apertur des Abbildungssystems und, β_1 der Abbildungsmaßstab des ersten Subsystems ist. Die mit Hilfe der Vielkanalplatte vervielfachten Elektronen können beispielsweise auf einem hinter der Vielkanalplatte positionierten Phosphorschirm in sichtbares Licht umgewandelt und beispielsweise mit einer CCD-Kamera beobachtet werden. Mit Photoemissions-Elektronenmikroskopen könnten laterale Auflösungen von 20 nm erreicht werden. [0017] Alternativ zur Abbildung des Zwischenbildes in ein vergrößertes Bild in der Bildebene mittels eines Photoelektronenmikroskops, kann auch ein zweites Subsystem vorgesehen sein, das in oder nahe der Zwischenbildebene eine Fluoreszenzplatte umfaßt und ein dieser nachgeordnetes Linsensystem für längerwelliges Licht. Durch das auf die Fluoreszenzplatte auftreffende Röntgenlicht wird Fluoreszenzstrahlung im Bereich längerwelliges Lichtes erzeugt. Diese Fluoreszenzstrahlung kann dann mit einem optischen Abbildungssystem, beispielsweise einem Linsensystem oder einer Fresnel-Zonenplatte oder einem beliebigen diffraktiven optischen Element in die Bildebene abgebildet werden.

[0018] Als erstes Subsystem sind alle zu einer abbildenden Optik gehörenden EUV-optischen Elemente denkbar, beispielsweise Spiegel mit Vielfachbeschichtung, Zonenplatten oder diffraktiv optische Elemente.

[0019] Bevorzugt umfaßt das erste Subsystem zwei Spiegel, einen ersten Spiegel S1 und einen zweiten Spiegel S2. Der erste Spiegel ist bevorzugt ein Konkavspiegel und der zweite Spiegel ein Konvexspiegel. Bevorzugt sind erster und zweiter Spiegel asphärisch geformt.

[0020] Das zweite Subsystem dient bevorzugt dazu, das Zwischenbild in der Zwischenbildebene vergrößert in ein Bild in der Bildebene abzubilden. Infolgedessen ist der Abbildungsmaßstab dieses zweiten Subsystems groß und beträgt $\beta_2 \geq 3 \times$. Bevorzugt liegt er im Bereich $50 \times \leq \beta_2 \leq 500 \times$. Der Abbildungsmaßstab des zweiten Subsystems wird in vorliegender Anmeldung durch die Abbildung des Zwischenbildes in der Zwischenbildebene in ein vergrößertes Bild in der Bildebene definiert. Als zweites Subsystem sind möglich: Photoemissions-Elektronenmikroskope (PEEM), Fluoreszenzkonverter mit nachgeschalteten optischen Mikroskopen oder andere Konvertiermikroskope, die Röntgenlicht zur Weiterverarbeitung in abbildenden Systemen auf einen anderen Abbildungsträger, beispielsweise längerwellige Photonen; Elektronen oder Ionen wandeln können.

[0021] Bevorzugt weist das erfindungsgemäße reflektive

Röntgenmikroskop eine optische Achse auf, zu der die Spiegel des Mikroskopes zentriert angeordnet sind.

[0022] Im Gegensatz zu den aus den US-Patenten bekannten Röntgenstrahlmikroskopen ist das Objekt in der Objektebene bei dem erfindungsgemäßen reflektiven Röntgenmikroskop bevorzugt außerhalb der optischen Achse angeordnet. Dies ermöglicht die Untersuchung von Objekten in Reflexion, beispielsweise reflektierenden EUV-Masken, ohne daß Objekt- und Bildebene zueinander verkippt angeordnet sind, d. h., sowohl die Objektebene wie die Bildebene stehen senkrecht auf der optischen Achse des reflektiven Röntgenobjektives. Hierdurch können Bildfehler minimiert werden, da hierdurch ein einheitlicher Abbildungsmaßstab für alle Feldpunkte in alle Richtungen erreicht wird.

[0023] Besonders vorteilhaft ist es, wenn zur Einstellung der numerischen Apertur das reflektive Röntgenmikroskop eine Aperturblende umfaßt. Um verschiedene numerische Aperturen einstellen zu können, ist es von Vorteil, wenn die Aperturblende zugänglich ist. Eine vorteilhafte Anordnung der Aperturblende ist daher eine Anordnung im Strahlengang von der Objekt- zur Bildebene im ersten Subsystem hinter der Objektebene und vor dem ersten Spiegel. Die Aperturblende ist dezentriert zur optischen Achse angeordnet. Die Blende ermöglicht bevorzugt die Einstellung verschiedener Aperturstufen mit der unterschiedliche numerische Aperturen der Projektionsbelichtungsanlage simuliert werden können.

[0024] In einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Inspektionssystem zur Untersuchung von Objekten, insbesondere Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen ≤ 100 nm zur Verfügung gestellt. Das Inspektionssystem umfaßt ein Beleuchtungssystem zur Ausleuchtung eines Objektfeldes in einer Objektebene. Als Lichtquelle umfaßt das Beleuchtungssystem bspw. eine Entladungsquelle, Laser-Plasma-Quelle oder Synchrotronquelle. Die gewünschte Strahlung von beispielsweise 13.5 nm kann mit Gitterspektralfiltern ausgefiltert werden. In der Objektebene ist innerhalb des ausgeleuchteten Feldes wenigstens ein Teil der zu untersuchenden Maske angeordnet. Des weiteren umfaßt das Inspektionssystem ein Abbildungssystem für Wellenlängen ≤ 100 nm zur Abbildung wenigstens eines Teils der zu untersuchenden Maske in eine Bildebene. In der Bildebene ist ein Beobachtungssystem zur Beobachtung des in diese Ebene vergrößert abgebildeten Objektes vorgesehen.

[0025] In dem erfindungsgemäßen Inspektionssystem ist das Abbildungssystem bevorzugt ein erfindungsgemäßes reflektives Röntgenmikroskop.

[0026] Das erfindungsgemäße Inspektionssystem umfaßt vorzugsweise Positioniereinrichtungen zum Positionieren des Objektes in der Objektebene. Dadurch ist es möglich, ganz gezielt bestimmte Teile des zu untersuchenden Objektes in der Objektebene zu verfahren und so Bilder von unterschiedlichen Teilen des Objektes in der Bildebene aufzunehmen.

[0027] In einer bevorzugten Ausführungsform umfaßt das Abbildungssystem eine zugängliche, einstellbare Aperturblende. Die einstellbare Aperturblende ermöglicht es, die Apertur so einzustellen, daß die Abbildungsverhältnisse am Objekt äquivalent sind zu den Abbildungsverhältnissen in einer Projektionsbelichtungsanlage. Projektionsbelichtungsanlagen für die EUV-Lithographie sind beispielsweise aus der WO 02/27401, der WO 02/27402 oder der US 6,244,717 bekannt geworden, deren Offenbarungsgehalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung miteingeschlossen wird. Die möglichen Obskurationen in einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage können durch eine Obskurationsblende, die beispielsweise im Beleuchtungssystem des Inspektionssystems angeordnet ist, simuliert wer-

den.

[0028] Weist die Projektionsbelichtungsanlage beispielsweise ein Projektionsobjektiv mit einer bildseitigen NA von 0,3 und mit einer Vergrößerung von 4x auf, so beträgt die an der einstellbaren Aperturblende vorzuwählende Apertur 0,3 : 4, d. h. 0,075, um eine der Abbildung in dem Projektionssystem entsprechende Abbildung im Inspektionssystem zu erhalten.

[0029] Die einstellbare Aperturblende kann frei in einem Bereich $0,001 \leq NA \leq 0,25$ eingestellt werden.

[0030] Neben der einstellbaren Aperturblende im Abbildungssystem kann in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vorgesehen sein, daß auch das Beleuchtungssystem eine einstellbare Beleuchtungsaperturblende umfaßt.

[0031] Mit Hilfe der Beleuchtungsaperturblende im Beleuchtungssystem, die in einer Ebene, die konjugiert zu der Ebene der Aperturblende der Abbildungsoptik angeordnet ist, kann die Größe der Pupillenfüllung σ vorgegeben werden. Die Pupillenfüllung ist definiert als:

$$\sigma = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta},$$

wobei $\sin \alpha$ der numerischen Apertur $NA_{\text{Beleuchtung}}$ des Beleuchtungssystems am Objekt und $\sin \beta$ der numerischen Apertur $NA_{\text{Abbildung}}$ des Abbildungssystems am Objekt entspricht. Die Einstellung von σ erlaubt es, verschiedene Arten von Beleuchtungssystemen für Projektionsbelichtungsanlagen zu simulieren. Während Aperturblende und Beleuchtungsaperturblende wie oben beschrieben die Einstellung einer kreisförmigen Ausleuchtung mit einem vorbestimmten Pupillenfüllungsgrad σ bei Verwendung kreisförmiger Blenden ermöglichen, ist es durch das Einbringen eines Blendenwechslers, beispielsweise eines Blendenrades, in die Beleuchtungsaperturblendenfläche möglich, auch eine annuläre, quadrupolare oder eine dipolare Beleuchtung zu simulieren. Zur Begrenzung des Feldes kann in einer zur Objektebene konjugierten Ebene eine Feldblende vorgesehen sein.

[0032] Bevorzugt weist das Bildaufnahmesystem des Inspektionssystems eine Analyseeinheit auf, mit der die Bilder des Objektes in der Bildebene ausgewertet werden können.

[0033] Um neben einer Simulation der Eigenschaften der Projektionsbelichtungsanlage, die in einer speziellen Ausgestaltung auch als Stepper ausgelegt ist, eine qualitative und quantitative Inspektion der Masken zu ermöglichen, umfaßt das Inspektionssystem bevorzugt Fokuseinstelleinrichtungen, mit denen das Objekt in senkrechter Richtung zur Objektebene verfahren werden kann. Dies ermöglicht die Aufnahme von Bildern ein und derselben Stelle auf dem Objekt an vorbestimmten Fokuspositionen. Bevorzugt wird der Fokus von unten nach oben in vorbestimmten Schritten symmetrisch durchfahren. Die an verschiedenen Fokuspositionen aufgenommenen Bilder können mit Hilfe der Analyseeinheit ausgewertet und so mindestens eine Aussage über die Qualität der Maske getroffen werden. Hat die Maske an der untersuchten Stelle Defekte, so ermöglicht es die Analyseeinheit, diese genau zu analysieren. Gegebenenfalls kann die Maske repariert und anschließend neu analysiert werden.

[0034] Bevorzugt umfaßt die Analyseeinheit eine Mikrocomputereinrichtung, in der die aufgenommenen Bilddaten digital verarbeitet werden können. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist das zweite Subsystem tauschbar bzw. auswechselbar ausgeführt. Durch Auswechseln des zweiten Subsystems kann das Objektfeld vergrößert und die Maske im Gesamten zunächst grob inspektiert werden. Die gesamte Maske kann beispielsweise eine Abmessung von 6" x 6" (152 x 152 mm) aufweisen und das

Objektfeld $\leq 2 \times 2$ mm, so daß eine grobe Inspektion der gesamten Maske möglich ist. Die Maske kann dann mit Hilfe der Positioniereinrichtung an Stellen verbracht werden, an denen Defekte auftreten. Mit Hilfe eines anderen zweiten Subsystems mit kleinerem Objektfeld und größerer Vergrößerung können diese ausgewählten Stellen näher untersucht werden. Das Objektfeld liegt bevorzugt im Bereich $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $30 \times 30 \mu\text{m}$.

[0035] Bei Systemen, bei denen das zweite Subsystem als Photoemissions-Elektronenmikroskop ausgebildet ist und eine variable Vergrößerung, d. h. eine Zoom-Wirkung, im Bereich von bspw. 40 bis 4000 x aufweist, können verschiedene große Objektfelder durch Einstellen der Vergrößerung des Photoemissions-Elektronenmikroskopes untersucht werden.

[0036] Bevorzugt ist zumindest der abbildende Teil für Wellenlängen ≤ 100 nm des Inspektionssystems, bspw. das erste Subsystem in einem für EUV-Anwendungen geeigneten Vakuum angeordnet.

[0037] Neben dem erfindungsgemäßen Inspektionssystem wird auch ein Verfahren zur Inspektion von Objekten, insbesondere Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen ≤ 100 nm, zur Verfügung gestellt, bei dem in der Objektebene mit einem Beleuchtungssystem ein Objektfeld ausgeleuchtet wird, das zu untersuchende Objekt mit Positioniereinrichtung in das ausgeleuchtete Objektfeld verbracht wird und in eine Bildebene, in der ein Bildaufnahmesystem angeordnet ist, mittels eines Abbildungssystems für Wellenlängen ≤ 100 nm abgebildet wird. Zur Charakterisierung der Masken wird in einem bevorzugten Verfahren das zu untersuchende Objekt mit einer Fokuseinstellvorrichtung senkrecht zur Objektebene verfahren und Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen oberhalb und unterhalb des Fokus aufgenommen und ausgewertet. Alternativ oder zusätzlich kann das zweite Subsystem relativ zum Fokus des Zwischenbildes verfahren werden, um Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen aufzunehmen. Alternativ könnte auch die gesamte Abbildungsvorrichtung oder nur das erste Subsystem in Richtung der Achse, die senkrecht auf der Objektebene steht, verfahren werden.

[0038] Die Verwendung des erfindungsgemäßen Inspektionssystems ist vielfältig. So ist ein derartiges Inspektionssystem, wie zuvor eingehend beschrieben, zur Defektanalyse von Maskenrohlingen, beschichteten Maskenrohlingen, Masken im Fertigungsprozeß für die Mikrolithographie mit Wellenlängen ≤ 100 nm geeignet, wie auch zur Kontrolle der Reparatur von Masken. Auch eine Kontrolle des Maskenalterungsprozesses ist möglich. Des weiteren kann mit einem derartigen Inspektionssystem der Belichtungsprozeß in einer Projektionsbelichtungsanlage durch Einstellung der Apertur und des Pupillenfüllungsgrades simuliert und damit die Projektionsbelichtungsanlage konfiguriert und optimiert werden. Das Inspektionssystem ist auch zur Inspektion von Wafern geeignet.

[0039] Die Erfindung soll nachfolgend anhand der Figuren beschrieben werden.

[0040] Es zeigen:

[0041] Fig. 1 die Gesamtansicht eines erfindungsgemäßen ersten Röntgenmikroskopobjektives mit einem ersten Subsystem, umfassend einen ersten und einen zweiten Spiegel und einem zweiten Subsystem, umfassend ein Photoemissions-Elektronenmikroskop.

[0042] Fig. 2 ein Inspektionssystem für EUV-Masken mit einem erfindungsgemäßen Röntgenmikroskop in schematischer Darstellung

[0043] Fig. 3 ein Inspektionssystem, wobei die einzelnen Komponenten des Inspektionssystems näher gezeigt sind.

[0044] Fig. 4 Flußdiagramm für die Durchführung einer

Messung

[0045] Fig. 5 mögliche Bearbeitungen der aufgenommenen Bilder

[0046] Fig. 6a-c: mögliche Einsatzgebiete des erfindungsgemäßen Inspektionssystems

[0047] In Fig. 1 ist eine erste Ausführungsform der Erfindung gezeigt mit einem ersten Subsystem. Vorliegend umfaßt das erste Subsystem einen ersten Spiegel S1 und einen zweiten Spiegel S2. Der erste Spiegel S1 ist ein Konkavspiegel und der zweite Spiegel S2 ein Konvexspiegel. Die Spiegel S1 und S2 sind zentriert zur optischen Achse HA angeordnet. Denkbar wären auch Systeme mit nur einem einzigen Spiegel. Das zweite Subsystem umfaßt ein Photoemissions-Elektronenmikroskop 10. Das dezentriert zur optischen Achse HA angeordnete Objekt in der Objektebene 1 wird durch das erste Subsystem in ein Zwischenbild Z in einer Zwischenbildebene 2 abgebildet. Die einstellbare Aperturblende B ist dezentriert zur optischen Achse zwischen Objektebene und erstem Spiegel im hochaperturigen Teil des Abbildungssystems angeordnet. Durch die Anordnung im hochaperturigen Teil können unterschiedliche numerische Aperturen sehr genau eingestellt werden. Die Photokathode 20 des Photoemissions-Elektronenmikroskops ist nahe der Zwischenbildebene 2 angeordnet. Mit dem Photoemissions-Elektronenmikroskop (PEEM) wird das Zwischenbild Z in der Zwischenbildebene 2 in ein vergrößertes Bild in der Bildebene 3 abgebildet. Vom Photoemissions-Elektronenmikroskop 10 sind nur schematisch einige wichtige Bauteile gezeigt. Das auf eine Photokathode 20 auftreffende Röntgenlicht löst Elektronen aufgrund des Photoeffekts aus. Die ausgelösten Elektronen werden über Linsen 22, wovon beispielhaft nur eine dargestellt ist, und Blenden 24, wovon beispielhaft ebenfalls nur eine dargestellt ist, auf einen Fluoreszenzschirm 26 abgebildet. Durch den Fluoreszenzschirm wird das von den Elektronen erzeugte Bild in ein visuelles Bild umgesetzt, das mit einer Beobachtungseinrichtung, beispielsweise einer CCD-Kamera, beobachtet werden kann.

[0048] Die objektseitige Apertur des Systems gemäß Fig. 1 ist über die Aperturblende B einstellbar und beträgt beispielsweise zur Simulation gebräuchlicher Projektionsbelichtungsanlagen 0,0725. Die Aperturblende ist in einem Bereich $0,001 \leq NA \leq 0,25$ einstellbar. Die Objektfeldgröße, die in der Ebene 1 durch ein nicht dargestelltes Beleuchtungssystem beleuchtet wird, beträgt beispielsweise $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$ bzw. $100 \times 100 \mu\text{m}$. Wird beispielsweise eine Maske, ein sogenanntes Retikel, für die Mikrolithographie untersucht, so haben derartige Masken typischerweise Abmessungen von $152 \times 152 \text{ mm}$. Mit dem erfindungsgemäßen reflektiven Röntgenmikroskop ist somit nur die Abbildung eines Ausschnittes der Maske möglich. Das Objekt in der Objektebene 1 wird $300\text{--}10000 \times$ -fach vergrößernd in die Bildebene 3 abgebildet. Da die Aperturblendenebene B, wie insbesondere Fig. 2 zeigt, zugänglich ist, kann in der Blendenebene die Apertur mittels der Aperturblende B in einem Bereich $0,001 \leq NA \leq 0,25$ eingestellt werden. NA bezeichnet hier die abbildungsseitige, nachfolgend auch als Apertur $NA_{\text{Abbildung}}$ bezeichnet, Apertur am Objekt. Der Winkel α des Hauptstrahls 5 in der Objektebene 1 beträgt zur optischen Achse des Systems 6° . Mit Hilfe des Photoemissions-Elektronenmikroskops ist es möglich, ein ausreichend vergrößerndes Röntgenmikroskopobjektiv zu erhalten, dessen Baulänge geringer 2000 mm ist.

[0049] In Fig. 2 ist ein erfindungsgemäßes Inspektionssystem, insbesondere zur Untersuchung beschichteter EUV-Masken mit kleinem Objektfeld dargestellt. Ein Beleuchtungssystem 100 leuchtet in einer Objektebene 101 ein Feld 102 in einer vorbestimmten Art und Weise aus. Das Be-

leuchtungssystem 100 kann eine nicht dargestellte Beleuchtungsaperturblende umfassen zur Einstellung des Pupillenfüllungsgrades σ . Der Pupillenfüllungsgrad σ ist definiert als

$$\sigma = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \approx \frac{NA_{\text{Beleuchtung}}}{NA_{\text{Abbildung}}},$$

wobei $NA_{\text{Beleuchtung}}$ die numerische Apertur im Beleuchtungssystem, die durch die Beleuchtungsaperturblende vorgegeben wird, und $NA_{\text{Abbildung}}$ die numerische Apertur des Abbildungssystems, die durch die Aperturblende B des Abbildungssystems, hier des reflektiven Röntgenmikroskops, vorgegeben wird, darstellt.

[0050] Um verschiedene Beleuchtungs-Settings einstellen zu können, beispielsweise eine kreisförmige, eine annuläre, eine quadrupolare oder eine bipolare Beleuchtung, kann in einer Aperturblendenebene ein Blendenrad angeordnet sein.

[0051] Mit Hilfe der variabel einstellbaren Beleuchtungsaperturblende, der Aperturblende im Abbildungssystem bzw. dem Blendenrad ist es möglich, mit dem erfindungsgemäßen Inspektionssystem die Einstellungen in einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage, in der die Maske bzw. das Retikel eingesetzt wird, zu simulieren und durch Auswertung der Maskenbilder die optimalen Einstellungsparameter der Projektionsbelichtungsanlage in Bezug auf Apertur, Art der Beleuchtung, etc. zu ermitteln. Damit ist das Inspektionssystem für weit mehr als nur die Untersuchung von Masken auf Defekte hin geeignet. Wird eine Maske auf Defekte hin untersucht, so sind die defekten Stellen der zu untersuchenden EUV-Maske 104 innerhalb des ausgeleuchteten beobachteten Feldes angeordnet.

[0052] Für die Feldmitte des Feldes 102 ist in Fig. 2 der Strahlverlauf eines Strahlbüschels gezeigt. Der Hauptstrahl 106 des von der Feldebene ausgehenden Strahlbüschels 108 ist um einen Winkel α gegenüber der optischen Achse HA geneigt.

[0053] Der Winkel α entspricht dem Hauptstrahleinfallsinkel in Projektionsbelichtungsanlagen am Objekt, der bevorzugt 6° beträgt.

[0054] Mit Hilfe eines erfindungsgemäßen Röntgenmikroskopes als Abbildungssystem 110, das in Fig. 2 nicht näher dargestellt ist, aber ein Röntgenmikroskopobjektiv gemäß Fig. 1 umfassen kann, wird das Objekt 104 in der Objektebene 101 in ein Bild in der Bildebene 112 abgebildet. Wie aus Fig. 2 hervorgeht, ist der Strahlverlauf eines von der Feldmitte ausgehenden Strahlbüschels in der Bildebene 112 telezentrisch, d. h. der Hauptstrahl 106 eines Strahlbüschels 108 trifft senkrecht auf die Bildebene 112. Möglich wäre auch die bewusste Einführung von Abbildungsfehlern durch Verschieben mindestens einer der Aperturblenden aus der durch Telezentrie gekennzeichneten idealen Position in eine nicht-ideale Position, was zur Folge hat, dass das Strahlbüschel nicht telezentrisch auf die Bildebene 112 trifft. Das Bild 114 des Objektes 104 in der Bildebene 112 ist vergrößert. Die Vergrößerung liegt bevorzugt im Bereich $300 \times$ bis $1000 \times$. In der Bildebene 112 ist zur Beobachtung eine Beobachtungsvorrichtung angeordnet. Die Beobachtungsvorrichtung kann eine Kamera, insbesondere eine CCD-Kamera, eine Multikanalplatte oder ein Fluoreszenzschirm sein.

[0055] Die Beobachtungsvorrichtung wiederum kann mit einer ebenfalls in Fig. 2 nicht dargestellten Analyseeinheit ausgeführt sein, der das von der Beobachtungsvorrichtung aufgenommene Bild beispielsweise in digitaler Form zur Auswertung zugeführt wird. Die Analyseeinheit kann ein programmierbarer, digitaler Computer sein.

[0056] Der programmierbare digitale Computer wiederum kann Steuereinrichtungen umfassen, die die Aperturblende

in der Abbildungsoptik, die Beleuchtungsaperturblende bzw. das Blendenrad sowie die Feldblenden in dem Inspektionssystem ansteuert, um die Größe und Form des ausgeleuchteten Objektfeldes in der Objektebene, die Pupillenfüllung und die numerische Apertur einzustellen. Des weiteren kann das System Einrichtungen zur Positionierung des zu untersuchenden Objektes in der Objektebene, die auch als x-y-Ebene bezeichnet wird, umfassen. Dadurch ist es möglich, unterschiedliche Ausschnitte der Maske mit einem geringen Objektfeld, beispielsweise von $30\text{ }\mu\text{m} \times 30\text{ }\mu\text{m}$ oder $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$, bei einer Maskengröße von z. B. $152 \times 152\text{ mm}^2$ zu untersuchen. Durch systematisches Abfahren der Maske in der x-y-Ebene kann bei durch die einstellbaren Blenden simulierter Projektionsbelichtungsanlage die gesamte Maske untersucht werden. Da dies jedoch sehr aufwendig ist, ist mit Vorteil vorgesehen, das Abbildungssystem so auszugestalten, daß das erste Subsystem leicht vom zweiten Subsystem getrennt werden kann. Wird ein größeres oder kleineres Objektfeld oder eine größere oder kleinere Vergrößerung benötigt, kann das zweite Subsystem gegen ein zweites Subsystem mit größerer oder niedrigerer Vergrößerung und/oder größerem oder kleinerem Objektfeld sehr leicht getauscht werden. In einem solchen Fall kann die gesamte Maske grob untersucht und die auf der Maske kritischen Bereiche mit Hilfe der x-y-Positioniereinrichtung angefahren und diese Bereiche dann mit einer anderen Optik auf Defekte hin untersucht werden. Neben der Verfahrenbarkeit in der x-y-Ebene mit der Positioniereinrichtung sind in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung auch Fokuseinstellvorrichtungen vorgesehen, mit denen das Objekt senkrecht zur Objektebene verfahren und Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen ober- und unterhalb des Fokus aufgenommen werden können. Auf diese Art und Weise ist es möglich, Bilder der Maske bei unterschiedlichen vorgegebenen Fokusebenen aufzunehmen. Die Anzahl dieser Fokusebenen hängt von der gewünschten Genauigkeit der Untersuchung ab.

[0057] Zusätzlich zu den Bilddaten bei unterschiedlichen Fokusebenen können auch Daten über die Beleuchtungsintensität in der Beleuchtungsebene für jedes einzelne Bild aufgenommen werden.

[0058] Aus den aufgenommenen Bilddaten können in Abhängigkeit von der x-, y-Position sowie der z-Position Intensitätsdatenkarten der untersuchten Maske generiert werden. Diese Intensitätsdatenkarten können mit Intensitätsdatenkarten, die aufgrund von Simulationsrechnungen erhalten wurden, oder Referenzdatenkarten, die bei der Untersuchung von Masken bzw. Objekten, die in einem Projektionsbelichtungsprozeß zu akzeptablen Ergebnissen geführt haben, verglichen werden. Auf diese Art und Weise ist eine Untersuchung der Maske auf Defekte und eventuell deren Reparatur hin möglich, sowie eine Qualifizierung der Maske.

[0059] Das erfindungsgemäße Inspektionssystem ist nicht nur für die Defektanalyse und die Reparatur von Masken für die Mikrolithographie geeignet, sondern auch zur lokalen Reinigung der Masken durch Bestrahlung mit Licht der Wellenlänge des Inspektionssystems oder Optimierung des Designs der Maskenstruktur und zur Prozeßoptimierung für den Belichtungsprozeß und die Systemkonfiguration in Projektionsbelichtungsanlagen.

[0060] In Fig. 3 ist eine Prinzipskizze des gesamten Inspektionssystems gezeigt. Das Licht einer EUV-Lichtquelle 100 wird von einem Kollektor 102 gesammelt und über Spiegel 104, 106 des Beleuchtungssystems auf die Objektebene 108, in der sich das zu untersuchende Objekt befindet, gelenkt. Das Strahlbüschel des Beleuchtungssystems 110 fällt nicht telezentrisch auf das Objekt in der Objektebene

108, sondern unter einem Winkel. Bevorzugt ist der Hauptstrahlwinkel des Strahlbüschels identisch dem Hauptstrahlwinkel unter dem auch die Projektionsbelichtungsanlage betrieben wird. Bevorzugt beträgt dieser Winkel α relativ zur Normalen 112 in einem ersten Ausführungsbeispiel 6° .

[0061] Im Beleuchtungssystem 110 sind im Strahlengang vom Kollektor 102 zur Objektebene 108 eine Beleuchtungsaperturblende 120 und eine Feldblende 122 angeordnet. Das Objekt in der Objektebene 108, das unter Reflexion beleuchtet wird, wird mit einem erfindungsgemäßen Abbildungssystem in eine Bildebene 130 abgebildet, in der das Objekt beobachtet werden kann. Die Abbildung erfolgt wie beschrieben zweistufig und zwar mit einem Zwischenbild Z. Das erste Subsystem 150 des Abbildungssystems umfaßt einen ersten Spiegel 152 und einen zweiten Spiegel 154. Das vom ersten Subsystem in die Zwischenbildebene abgebildete Zwischenbild des Objektes in der Objektebene, bevorzugt die zu untersuchende Maske, wird mittels eines zweiten Subsystems 156 vergrößert in die Bildebene 130 abgebildet. Die Aperturblende 154 im Abbildungssystem befindet sich im Strahlengang von der Objektebene zur Zwischenbildebene zwischen Objektebene 108 und erstem Spiegel 152 des ersten Subsystems 150.

[0062] In Fig. 4 ist ein beispielhafter Meßablauf zur Untersuchung eines Objektes mit Hilfe des erfindungsgemäßen Inspektionssystems gezeigt. In einem ersten Schritt 200 erfolgt eine Eingabe der Systemeinstellung, beispielsweise der Apertur $NA_{\text{Abbildung}}$, der Apertur $NA_{\text{Beleuchtung}}$ sowie der Obskurations- bzw. der Feldblende. Die Blenden werden daraufhin in einem zweiten Schritt 202 eingestellt. Sodann werden die Systemeinstellungen in einem Schritt 204 anhand einer Teststruktur, beispielsweise einer Linearstruktur in x- bzw. y-Richtung überprüft. Mit Hilfe der Teststruktur wird das System in einem Schritt 206 feinjustiert. Sodann wird in einem Schritt 210 die Meßstelle im Meßfeld, das ist der zu untersuchende Bereich des Objektes, positioniert, in dem beispielsweise der x-y-Tisch an die entsprechende Stelle verfahren wird. Optional kann vor Positionieren im Meßfeld auch eine Dokumentation der Meßeinstellungen in einem Schritt 208 vorgenommen werden.

[0063] Nachdem die zu untersuchende Meßstelle positioniert wurde, wird in einem letzten Schritt 212 der Fokus eingestellt. Ist der Fokus im Schritt 212 aufgefunden, so wird entweder ein Meßbild im Schritt 214 aufgenommen oder der Fokus wie zuvor beschrieben durchfahren, d. h. Meßbilder für unterschiedliche z-Positionen aufgenommen. Nach jedem Meßbild findet in Schritt 216 eine Qualitätskontrolle desselben statt bzw. werden die unterschiedlichen Fokuspositionen zugeordneten Meßbilder in qualitativer Hinsicht beurteilt. Genügen diese den Qualitätsanforderungen, so wird, falls vorhanden, das Objekt an eine weitere Meßstelle verfahren und dort wiederum die Meßreihe wie zuvor beschrieben aufgenommen. Führt die Qualitätskontrolle zu einem negativen Ergebnis, so wird an derselben Stelle ein neues Meßbild aufgenommen bzw. eine Vielzahl von Meßbildern, die unterschiedlichen z-Positionen zugeordnet sind.

[0064] Ist keine weitere Meßposition 220 mehr vorhanden, so können entweder in Schritt 222 die Systemeinstellungen geändert oder die Messung in Schritt 224 beendet werden.

[0065] In Fig. 5 sind mögliche Auswertungen von mit Hilfe des Inspektionssystems gewonnenen Messbildern bzw. Meßinformationen, die beispielsweise mit Hilfe einer Computereinrichtung durchgeführt werden können, dargestellt. Das ausgewählte Messbild 300, das eine Funktion des Ortes auf dem zu untersuchenden Objekt in der Objektebene, d. h. in der x-y-Ebene, ist, sowie in z-Richtung, wenn verschiedene Meßbilder ober- und unterhalb der Fokus-

ebene aufgenommen wurden, kann in einem Schritt 302 sowohl was den Ort auf der Probe, also die x-y-Position angeht, d. h. in bezug auf die Region, wie auch in bezug auf die z-Position, d. h. in bezug auf den Schnitt ausgewählt und anschließend analysiert werden. Die ausgewählten Daten können numerisch bearbeitet und bestimmte Darstellungen berechnet werden, wie in Schritt 304 angegeben. Beispielsweise können die Daten gefittet, interpoliert, korreliert, geglättet, gefiltert oder gespiegelt werden. Die Aufbereitung der Daten durch Berechnung bzw. Aufbereitung in Schritt 304, kann auch z. B. automatisiert anhand von Kennzahlen in bezug auf die Qualität in Schritt 306 charakterisiert werden.

[0066] Alternativ zur Ausgabe von Kennzahlen zur Qualität oder zusätzlich hierzu können in Schritt 310 verschiedene Darstellungen vorgenommen werden. So ist eine Bild-darstellung der Intensität in x-, y-Richtung möglich oder ein Konturplot. Dies ist mit Bezugsziffer 312 und 314 gekennzeichnet. Alternativ hierzu können die Profile für die Schnitte gezeigt werden oder die Linienbreite über der Defokussierung, d. h. der Bewegung in z-Richtung. Dies ist mit 316 und 318 gekennzeichnet. Des weiteren kann die Linienbreite über den Threshold dargestellt werden. Dies ist mit Bezugsziffer 320 gekennzeichnet. Alternative Darstellungsarten sind das Prozeßfenster, das mit Bezugsziffer 322 gekennzeichnet ist, und eine Anzeige der Simulationsdaten zu Meßdaten für die Resistentwicklung, was mit Bezugsziffer 324 gekennzeichnet ist. Auch ist ein Vergleich mehrerer Messungen möglich oder eine Darstellung des Kontrastes über die Defokussierung, d. h. der Bewegung in z-Richtung. Dies mit den Bezugsziffern 326 und 328 gekennzeichnet. Auch andere Darstellungen basierend auf der Auswertung der Messbilder gemäß Schritt 330 sind möglich. Die möglichen Darstellungsarten sind für Inspektionssysteme, die im Wellenlängenbereich ≥ 193 nm arbeiten im Operating Manual AIMS Fab B 41003E und/oder Software Manual AIMS Fab B40409E der, Carl Zeiss Microelectronic Systems GmbH eingehend beschrieben. Der Offenbarungsgehalt dieser Schriften wird vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen.

[0067] In den Fig. 6a bis 6c sind mögliche Einsatzgebiete des erfindungsgemäßen Inspektionssystems gezeigt. So zeigt Fig. 6a den Einsatz des EUV-Inspektionssystems beispielsweise bei der Herstellung von Maskenblanks, d. h. Maskenrohlingen. Das gemäß Schritt 400 gefertigte Substrat, das in der Regel ein Glassubstrat ist, kann in Schritt 402 mit Hilfe des erfindungsgemäßen EUV-Inspektionssystems in bezug auf seine Qualität kontrolliert werden. Ist diese Qualität ausreichend, so wird das Substrat im Schritt 404 mit EUV-Spiegelschichten beschichtet. Diese Spiegelschichten werden nunmehr in Schritt 406 auf Defekte hin inspiziert, und zwar die gesamte Fläche. Die Defektinspektion gemäß Schritt 406 erfolgt mit einem Inspektionsmodul, beispielsweise einem zum EUV-Abbildungssystem parallelen Abbildungssystem, das mit sichtbarem Licht arbeitet. Ergeben sich Defekte auf der Maske, so können gemäß Schritt 408 diese Defekte mit Hilfe des EUV-Inspektionssystems näher untersucht werden. Hierzu wird die zuvor auf der gesamten Fläche untersuchte Maske mit einer x-y-Positionierungseinrichtung an die Defektstellen verfahren und gezielt diese Bereiche der Maske mit dem EUV-Inspektionssystem untersucht. Ist die Qualität der Maske gemäß Schritt 410 nach erfolgter EUV-Inspektion ausreichend, so kann die Maske gemäß Schritt 412 ausgeliefert werden oder wird gemäß Schritt 414 verworfen.

[0068] Fig. 6b zeigt als weiteres Einsatzgebiet des erfindungsgemäßen EUV-Inspektionssystems die Verwendung in der Maskenproduktion. Das eingehende beschichtete

Maskensubstrat kann gemäß Fig. 6b in Schritt 450 mit Hilfe des EUV-Inspektionssystems in der Eingangskontrolle untersucht werden. Ist die Maske qualitativ ausreichend, so kann diese in einem nachfolgenden Schritt 452 strukturiert werden. Die gesamte strukturierte Maske gemäß Schritt 452 kann in Schritt 454 wiederum qualitativ mit Hilfe des EUV-Inspektionssystems untersucht werden. Hierzu erfolgt wie bei der Eingangskontrolle 450 zunächst eine Defektinspektion der gesamten Maskenfläche mit einem Inspektionssystem, das beispielsweise mit sichtbarem Licht arbeitet sowie eine CD-Messung, ebenfalls mit einem System, das im sichtbaren bzw. UV- oder VUV-Wellenlängenbereich arbeitet. Ergeben sich bei der Defektinspektion oder bei der CD-Messung, die nicht mit EUV-Strahlung durchgeführt wird, Defekte, so kann das erfindungsgemäße EUV-Inspektionssystem dazu eingesetzt werden, die dort aufgefundenen Defekte näher zu klassifizieren. Wird aufgrund der EUV-Inspektion der Defekte die Qualität der Masken nach Defektinspektion für ausreichend befunden, so kann diese gemäß Schritt 456 ausgeliefert werden. Ist die Maske qualitativ nicht ausreichend, so kann die Maske an die entsprechende Defektstelle verfahren und in Schritt 458 daraufhin untersucht werden, ob eine Reparatur möglich ist oder nicht. Ist keine Reparatur möglich, so wird die Maske gemäß Schritt 460 verworfen. Ist eine Reparatur möglich, so wird diese gemäß Schritt 462 durchgeführt und erneut der EUV-Inspektion unterworfen. Ergeben sich nunmehr ausreichende Qualitätsdaten, so kann die reparierte Maske ausgeliefert werden.

[0069] Fig. 6c zeigt als Einsatzgebiet des erfindungsgemäßen EUV-Inspektionssystems die Verwendung eines derartigen Inspektionssystems in der Wafer-Fabrik.

[0070] In der Wafer-Fabrik kann die Maske gemäß Schritt 500 zunächst einer Eingangskontrolle unterzogen werden. Im Laufe des Produktionsprozesses 502 altert die Maske. Die Masken können in regelmäßigen Abständen mit Hilfe des erfindungsgemäßen EUV-Inspektionssystems auf ihre Qualität nach Alterung bzw. nach Lagerung gemäß Schritt 504 untersucht werden. Hierzu wird die Maske zunächst wiederum mit Strahlung im sichtbaren oder UV- oder VUV-Wellenlängenbereich vollflächig auf Defekte hin untersucht. An den Stellen, an denen Defekte auftreten, wird eine EUV-Inspektion vorgenommen. Ist die Maskenqualität noch ausreichend, so kann die Maske in der Produktion weiter verwandt werden. Ergibt die EUV-Inspektion, daß die Maske den qualitativen Anforderungen nicht mehr genügt, so kann untersucht werden, ob der Defekt reparabel ist. Dieser Schritt wird mit Schritt 506 bezeichnet. Scheidet eine Reparatur aus, so wird die Maske gemäß Schritt 508 aus dem Produktionsprozeß genommen. Ist eine Reparatur möglich, so wird die Maske gemäß Schritt 510 repariert und nach der Reparatur erneut mit Hilfe des EUV-Inspektionssystems inspiziert. Der Defekt wird nach erfolgter Reparatur klassifiziert und bei ausreichender Qualität die Maske wiederum in den Produktionsprozeß überführt und bei nicht ausreichender Qualität verworfen.

[0071] Mit der Erfindung wird somit erstmals ein Röntgenmikroskop sowie eine Inspektionsanlage für Objekte, die in der EUV-Lithographie Verwendung finden, angegeben, das sich durch eine sehr kurze Baulänge und eine kompakte Bauweise auszeichnet.

Patentansprüche

1. Reflektives Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer Objektebene, wobei das Objekt mit Strahlung einer Wellenlänge < 100 nm, insbesondere < 30 nm, beleuchtet und in eine Bildebene vergrö-

- Bert abgebildet wird mit
- 1.1 einem im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene angeordneten ersten Subsystem umfassend wenigstens ein erstes optisches Element für Wellenlängen $< 30 \text{ nm}$,
 - dadurch gekennzeichnet, dass
 - 1.2 im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene ein Zwischenbild (Z) in einer Zwischenbildebene (Z) ausgebildet wird und das reflektive Röntgenmikroskop ein dem ersten Subsystem im Strahlengang nach dem Zwischenbild (Z) angeordnetes zweites Subsystem umfaßt.
 2. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste optische Element ein abbildendes optisches Element für Wellenlängen $< 30 \text{ nm}$, vorzugsweise ein Spiegel, eine Fresnel-Zonenplatte oder ein diffraktives optisches Element ist.
 3. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Subsystem ein Abbildungssystem, bei dem Röntgenlicht in einen anderen Abbildungsträger gewandelt wird, umfaßt.
 4. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Subsystem ein Photoemissions-Elektronenmikroskop oder ein Fluoreszenzmikroskop ist.
 5. Reflektives Röntgenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Subsystem einen ersten Spiegel (S1) und einen zweiten Spiegel (S2) umfaßt.
 6. Reflektives Röntgenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das erste Subsystem eine erste Vergrößerung von $0,1 \leq \beta_1 \leq 100 \times$, bevorzugt im Bereich $0,1x \leq \beta_1 \leq 10 \times$ aufweist.
 7. Reflektives Röntgenmikroskop nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Subsystem eine zweite Vergrößerung von $\beta_2 \geq 3 \times$, bevorzugt im Bereich $50 \times \leq \beta_2 \leq 500 \times$ aufweist.
 8. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Röntgenmikroskop eine optische Achse (HA) aufweist, wobei der erste Spiegel (S1) des Mikroskopes zentriert zur optischen Achse angeordnet sind.
 9. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Röntgenmikroskop eine optische Achse (HA) aufweist, wobei erster (S1) und zweiter Spiegel (S2) des Mikroskops zentriert zur optischen Achse angeordnet sind.
 10. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt dezentriert zur und vorzugsweise nahe der optischen Achse angeordnet ist.
 11. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß eine Aperturblende (B) dezentriert zur optischen Achse vorgesehen ist.
 12. Reflexions-Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Aperturblende (B) im Strahlengang von der Objekt- (1) zur Bildebene (3) nach der Objektebene und vor dem ersten optischen Element für Strahlung $< 30 \text{ nm}$ angeordnet ist.
 13. Inspektionssystem für die Untersuchung von Objekten, insbesondere Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen $< 100 \text{ nm}$, vorzugsweise $< 30 \text{ nm}$, mit

- 13.1 einem Beleuchtungssystem zur Ausleuchtung eines Feldes in einer Objektebene (1), wobei
- 13.2 in der Objektebene innerhalb des ausgeleuchteten Feldes das zu untersuchende Objekt angeordnet ist;
- 13.3 einem Abbildungssystem für Wellenlängen 100 nm zur vergrößernden Abbildung wenigstens eines Ausschnittes des Objektes in eine Bildebene (3)
- 13.4 einem in der Bildebene (3) angeordneten Bildaufnahmesystem.
14. Inspektionssystem gemäß Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Inspektionssystem Positioniereinrichtungen zum Positionieren des Objektes in der Objektebene umfaßt.
15. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Abbildungssystem eine einstellbare Aperturblende (B) umfaßt.
16. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem eine einstellbare Beleuchtungsaperturblende in einer Ebene, die konjugiert zur Ebene der Aperturblende (B) im Abbildungssystem ist, umfaßt.
17. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem oder das Abbildungssystem eine Obskurationsblende in oder nahe der Blendenebene (B) oder einer Ebene, die konjugiert zur Blendenebene (B) ist, umfaßt.
18. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem eine einstellbare Feldblende umfaßt.
19. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Bildaufnahmesystem eine Analyseeinheit zur Analyse der Bilder des Objektes in der Bildebene (3) umfaßt.
20. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß das Inspektionssystem Fokuseinstelleinrichtungen umfaßt.
21. Inspektionssystem gemäß Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Fokuseinstelleinrichtungen Vorrichtung zum Verfahren des Objektes in senkrechter Richtung zur Objektebene (1) umfassen.
22. Inspektionssystem gemäß Anspruch 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Bildaufnahmesystem Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen, in die das Objekt durch die Fokuseinstelleinrichtung verbracht wird, aufnimmt.
23. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Analyseeinheit eine Mikrocomputereinrichtung umfaßt.
24. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Abbildungssystem für Wellenlängen $\leq 100 \text{ nm}$ ein reflektives Röntgenmikroskop umfaßt.
25. Inspektionssystem gemäß Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß das reflektive Röntgenmikroskop ein reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12 umfaßt.
26. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Teil des Inspektionssystems im Vakuum oder in einem Schutzgas angeordnet ist.
27. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß das Inspektionssystem des weiteren ein zum Abbildungssystem für Wellenlängen $\leq 100 \text{ nm}$ paralleles Hilfsbeobachtungssystem für Wellenlängen $\geq 100 \text{ nm}$ zur Abbildung we-

nigstens eines Teiles des Objektes in eine weitere Bildebene umfaßt.

28. Inspektionssystem gemäß Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, daß das Hilfsbeobachtungssystem parfokal und/oder parzentriert angeordnet ist. 5

29. Verfahren zur Inspektion von Objekten, insbesondere Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen 100 nm mit folgenden Schritten:

29.1 in der Objektebene wird mit einem Beleuchtungssystem ein Feld ausgeleuchtet 10

29.2 das zu untersuchende Objekt wird mit Positioniereinrichtungen in das ausgeleuchtete Feld verbracht

29.3 das zu untersuchende Objekt wird mit einem reflektiven Röntgenmikroskop für Wellenlängen ≤ 100 nm in eine Bildebene (3) abgebildet 15

29.4 die Bilder des Objektes in der Bildebene (3) werden von einem Bildaufnahmesystem aufgenommen.

30. Verfahren gemäß Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß die von dem Bildaufnahmesystem aufgenommenen Bilder mit einer Analyseeinheit auf charakteristische Größen des Objektes hin ausgewertet werden. 20

31. Verfahren gemäß Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß das Objekt mit einer Fokuseinstellvorrichtung senkrecht zur Objektebene (1) verfahren wird und Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen ober- und unterhalb des Fokus aufgenommen werden. 25

32. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß die numerische Apertur mit der Aperturblende und mit der Beleuchtungsaperturblende so eingestellt wird, daß sich eine mit der Projektionsbelichtungsanlage optisch äquivalente Apertur ergibt. 30

33. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 29 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren mit einem Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 24 durchgeführt wird. 35

34. Verwendung eines Inspektionssystems gemäß einem der Ansprüche 13 bis 29 zur Defektanalyse von Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen ≤ 100 nm. 40

35. Verwendung eines Inspektionssystems gemäß einem der Ansprüche 13 bis 29 zur Kontrolle von Reparaturen von Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen ≤ 100 nm. 45

36. Verwendung eines Inspektionssystems gemäß einem der Ansprüche 13 bis 29 zur Prozeßoptimierung für den Belichtungsprozeß in Projektionsbelichtungsanlagen. 50

37. Verwendung eines Inspektionssystems gemäß einem der Ansprüche 13 bis 29 zur Systemkonfiguration einer Projektionsbelichtungsanlage. 55

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

60

65

- Leerseite -

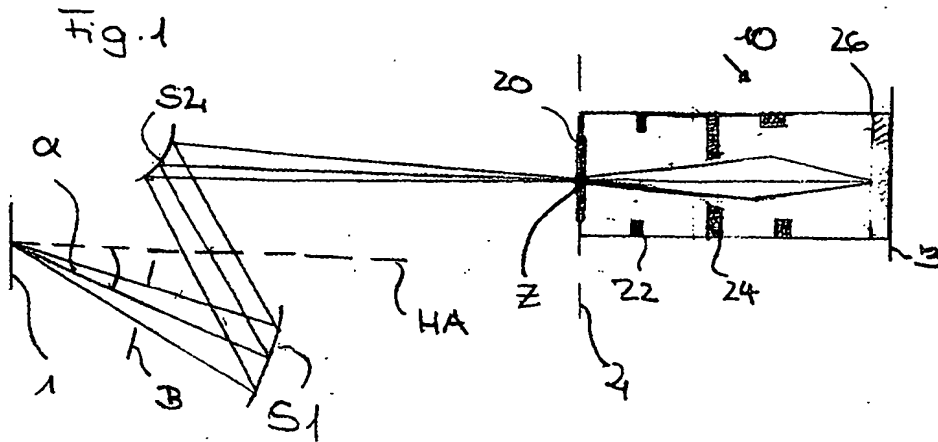
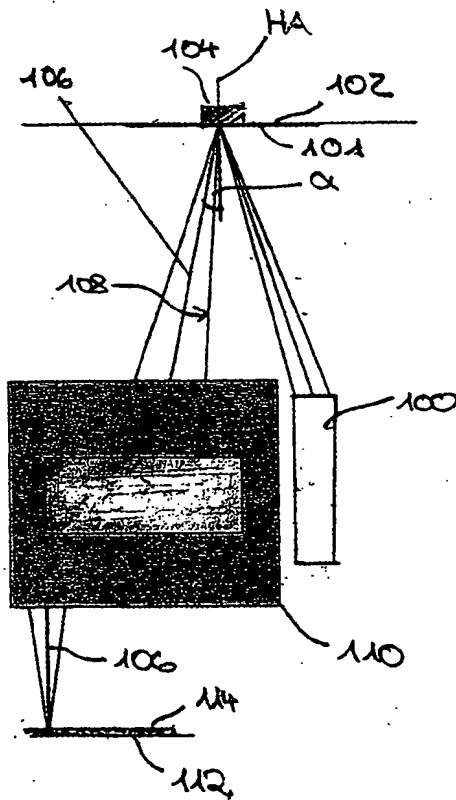
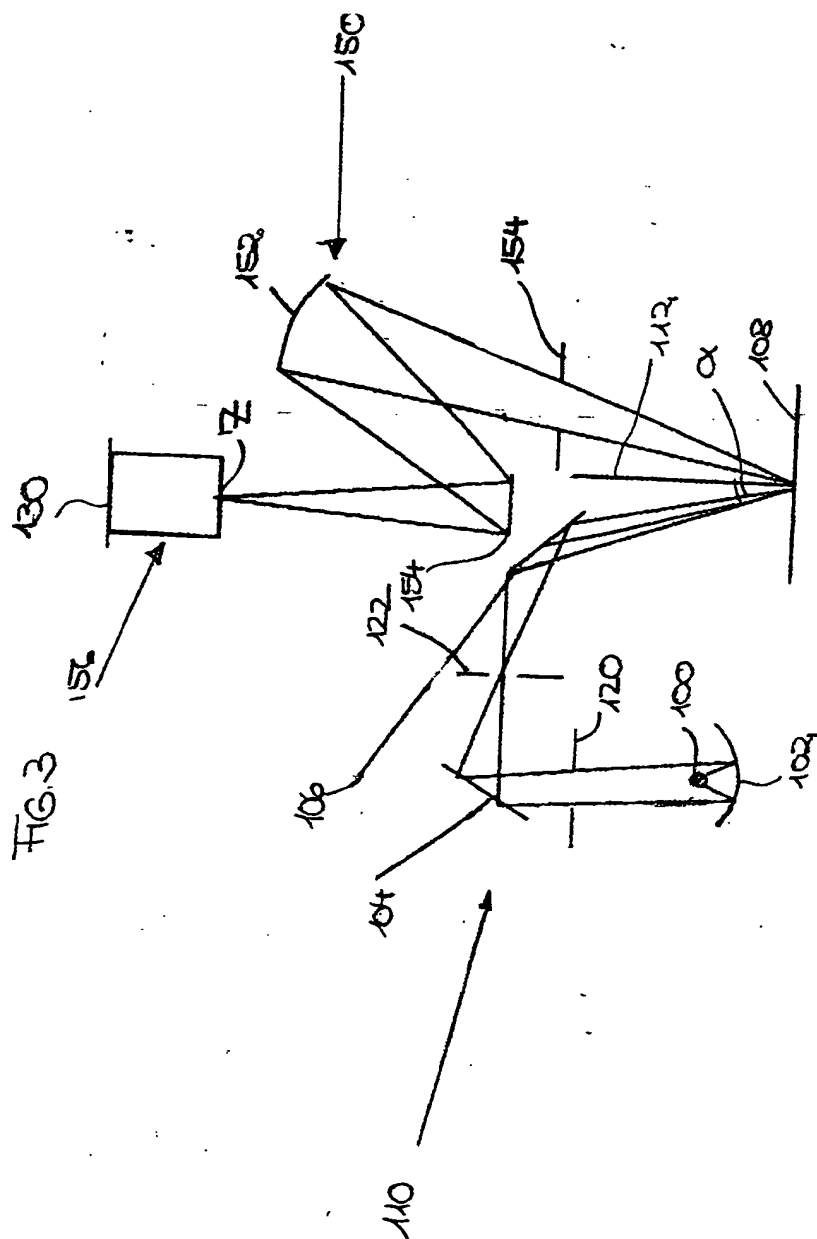
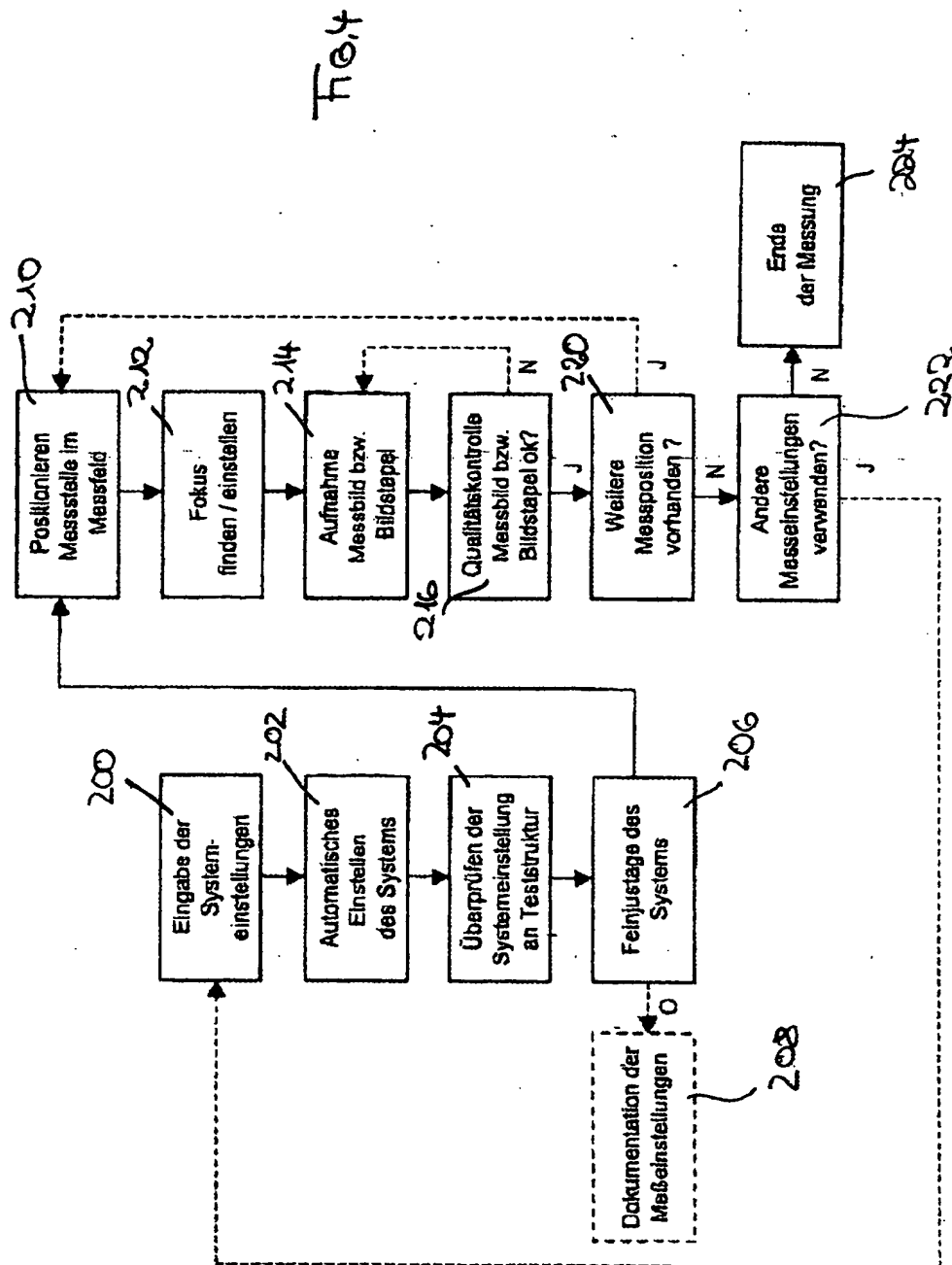
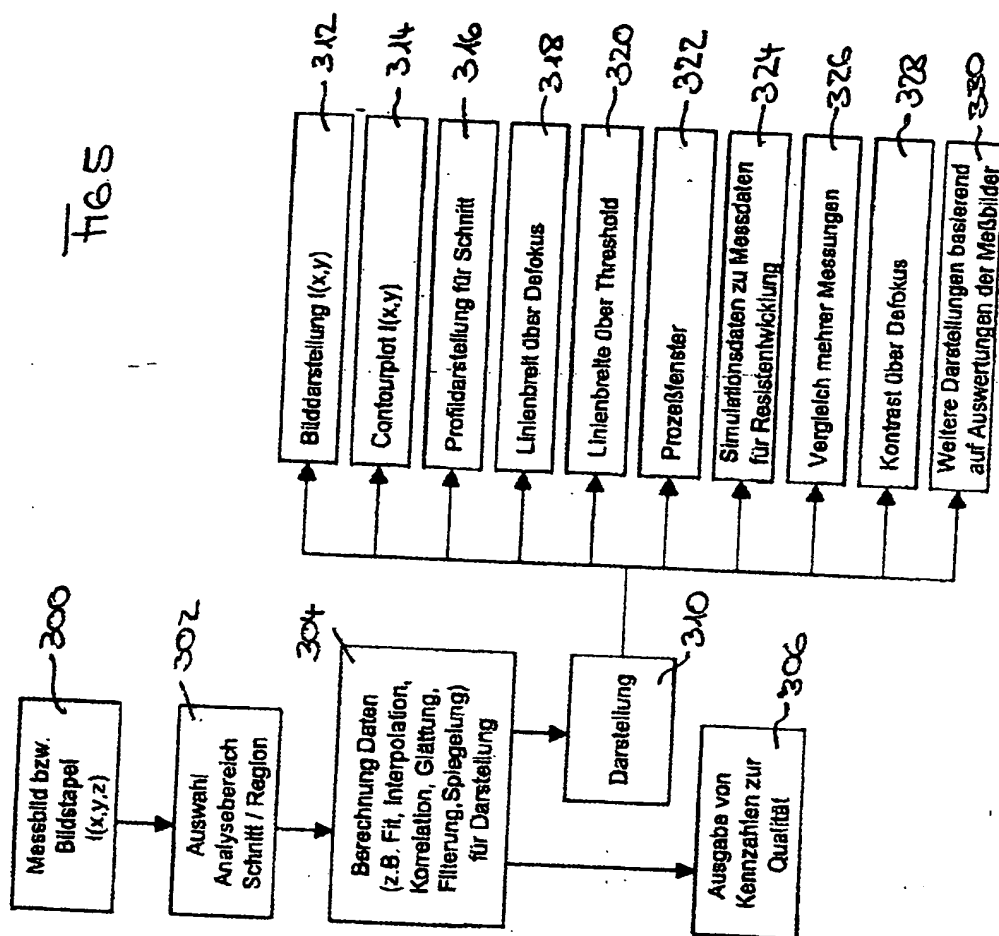


Fig. 2









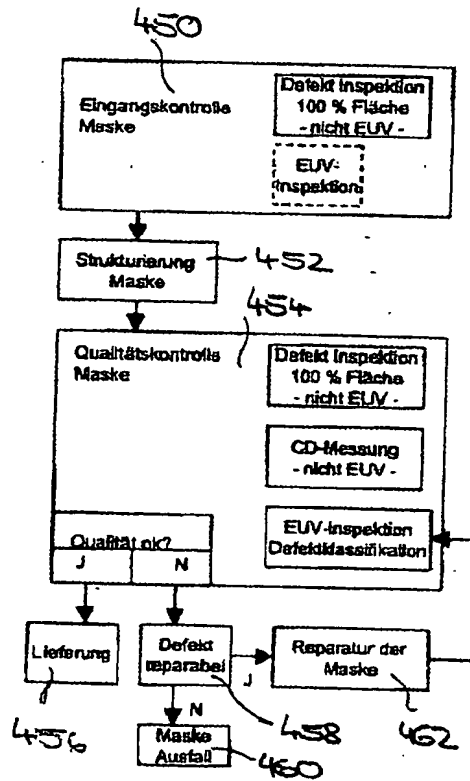
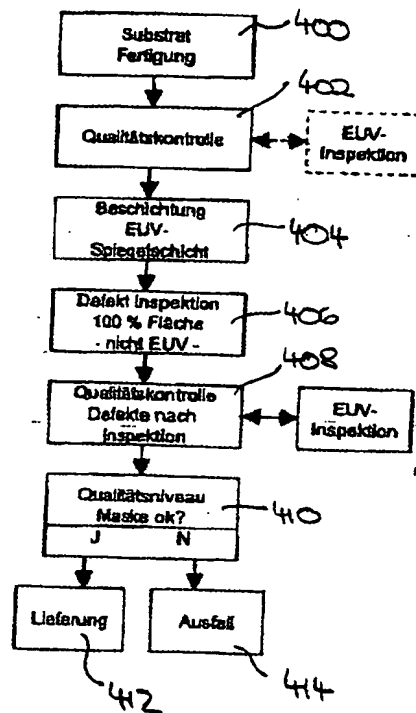


Fig. 6c

